Ferdinand Braun

Le 11 décembre 1909, deux prix Nobel de physique étaient attribués, l'un à Guglielmo Marconi et l'autre à Ferdinand Braun

par Michel Receveur

Si l'emploi des ondes hertziennes par Guglielmo Marconi est bien connu du grand public, les découvertes faites dans ce domaine par Ferdinand Braun le sont moins. Ce 104e anniversaire est l'occasion de relater ses travaux expérimentaux sur la télégraphie sans fil, qui deviendra plus tard la radio.

On the 11 December 1909, two Nobel Prizes in Physics were awarded, one to Guglielmo Marconi and the other to Ferdinand Braun. While the exploitation of Hertzian waves by Guglielmo Marconi is well known to the general public, the discoveries made in this domain by Ferdinand Braun are less so. This 104th anniversary is the opportunity to tell the story of this experimental work on Wireless Telegraphy, which later became Radio.

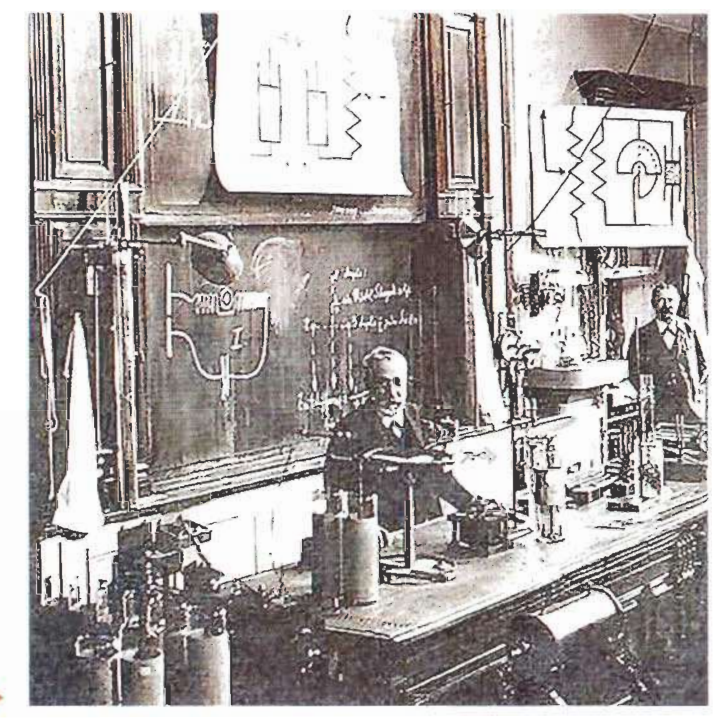




Figure 1. — Ferdinand Braun dans son laboratoire à l'institut de physique de Strasbourg.



Figure 2. — Ferdinand Braun.

Ferdinand Braun (1850-1918) (figure 2) [1], professeur de physique à Strasbourg de 1895 à 1914, a contribué, grâce à quatre améliorations, au développement de la T.S.F. et à la création d'une industrie de la télécommunication en Allemagne. Il perfectionne l'émetteur d'ondes de Marconi datant de 1895 en utilisant deux circuits séparés avec couplage électromagnétique, (brevet du 14 octobre 1899). Peu après 1900, en reprenant ses travaux de jeunesse de novembre 1874 sur la conductibilité unilatérale de certains solides, il utilise un cristal de galène comme détecteur, dispositif qui éclipsera bientôt le cohéreur de Branly et sera le récepteur d'ondes le plus répandu avant et encore après l'invention de l'audion ou tube triode par l'Américain Lee de Forest en 1906.

1. — Ferdinand Braun a l'âge de 36 ans, alors professeur de physique à l'université de Tübingen au sud de Stuttgart.

Braun est principalement connu outre-Rhin comme l'inventeur en 1897 du tube cathodique dénommé « tube de Braun ».

Une brillante trajectoire

D'abord, quelques remarques sur la vie de Ferdinand Braun. Il naquit le 6 juin 1850, sixième de sept enfants, à Fulda, une ville allemande proche de Marburg (Hesse). À cette époque pas d'eau courante, ni gaz, ni électricité, les rues sont éclairées au kérosène et les maisons au pétrole ou aux bougies, avec pour

unique force motrice industrielle, la roue à aubes.

Il doit son attrait pour la physique expérimentale à son professeur, le savant Hermann von Helmholtz (1821-1894) de l'université de Berlin où il obtiendra son doctorat de philosophie, qui comprend l'étude de la physique, à l'âge de 22 ans. Quand il prend la chaire de physique expérimentale de Strasbourg en 1895 (figure 1), rien ne laisse prévoir que ce professeur de 45 ans, qui s'est jusque là distingué par des travaux sérieux, mais d'un intérêt relatif, va devenir une célébrité dans le domaine de la T.S.F. La mise en évidence de l'existence des ondes électromagnétiques par Heinrich Hertz (13 décembre 1888), successeur de Braun à Karlsruhe depuis 1885, n'est pas pour l'heure, la préoccupation de ce dernier.

La TSF par l'eau

C'est seulement en 1898, et à la suite de circonstances assez étranges, que F. Braun tombe sur les ondes électromagnétiques et leurs applications. Malgré les résultats spectaculaires de Marconi [2] et Ducretet [3] (1844-1915), qui avaient employé dès 1895 pour le premier et 1897 pour le deuxième, et avec les succès que l'on sait, les ondes hertziennes pour la télégraphie, on avait continué à chercher d'autres méthodes pour la télécommunication sans fil. Une des alternatives au système Marconi était la télégraphie à travers l'eau. En 1896, les ingénieurs d'A.E.G. de Berlin, réussirent à transmettre ainsi des signaux sur une distance de quelques kilomètres. Les signaux électriques de l'hydrotélégraphie étaient de l'ordre des vibrations acoustiques et se laissaient capter par un simple téléphone.

C'est grâce à trois bricoleurs de Strasbourg, nommés Niels, Gümbel et Zobel, que durant l'hiver 1897-1898, Braun prend connaissance des travaux sur l'hydrotélégraphie. Les trois hommes sont à la recherche d'un mécène et s'adressent au chocolatier Stollwerck de Cologne. Ce dernier contacte Braun pour examiner de près l'invention des trois Strasbourgeois. Contrairement à la plupart de ses collègues, Braun ne voit pas d'inconvénient, en tant que professeur d'université — il sera même recteur de l'université de Strasbourg de 1905 à 1906 — à coopérer avec l'industrie et le commerce et à arrondir ses fins de mois par des brevets ou des expertises. Lors d'observations, il découvre entre autres, l'immense intérêt de disposer à Strasbourg d'un réseau électrique alternatif, alors qu'à Berlin le secteur est encore en courant continu. En effet dès 1895, la ville s'équipe d'un des tout premiers générateurs de courant alternatif à 50 Hz en Europe, une source nouvelle d'énergie, peu chère et utilisable rapidement. Ferdinand Braun est convaincu de pouvoir améliorer le système des trois Strasbourgeois et Stollwerck accepte de financer les travaux. Malgré une amélioration apportée en mai 1898, l'hydrotélégraphie restera un épisode éphémère dans l'histoire de la T.S.F. [2].

La TSF dans les airs

Mais cette aventure est pour Braun l'occasion de comprendre la raison pour laquelle les émetteurs de Marconi refusent de produire des ondes dépassant les seize kilomètres ! Marconi avait ajouté une antenne et une connexion à la terre au dispositif de Hertz (expérience de mars 1887). Pour atteindre de plus grandes distances, le seul moyen dont disposait Marconi, était d'augmenter l'intensité des étincelles, et cela ne fonctionnait que dans certaines limites. Même s'il doublait ou triplait l'énergie pour produire des étincelles plus fortes, la distance atteinte restait à peu près la même ! Selon Braun, toute l'énergie supplémentaire que Marconi a introduit dans son émetteur se dissipe dans la distance explosive de l'éclateur à étincelles. Plus les étincelles sont fortes, plus elles produisent de chaleur et de bruit, sans augmenter l'énergie électromagnétique émise dans l'espace. Autrement dit, chez Marconi, le circuit ouvert avec l'antenne est fortement amorti par la distance explosive.

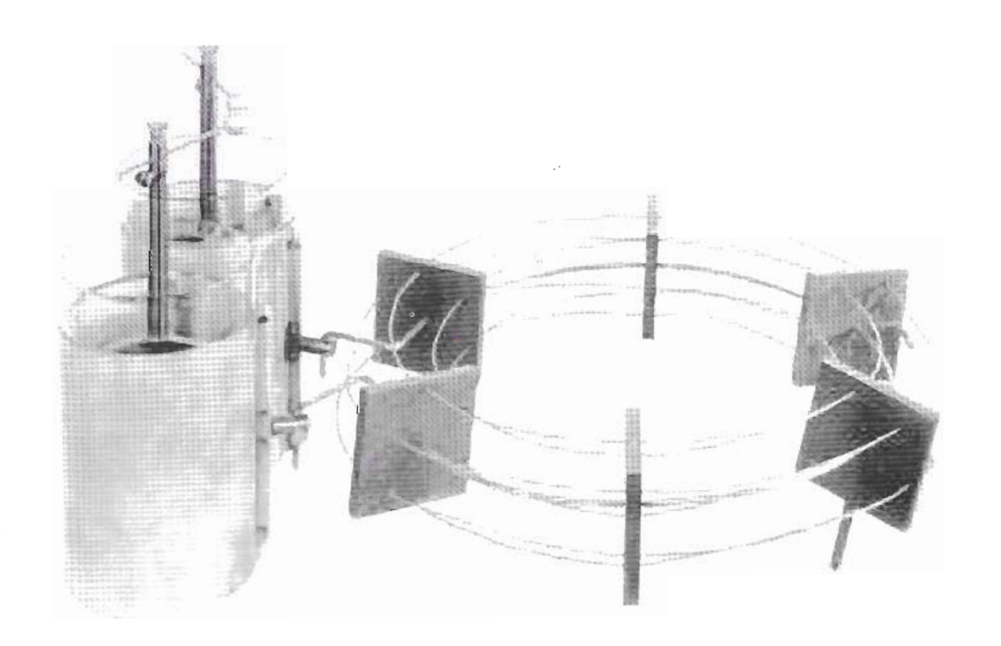


Figure 3. — Le générateur : une bobine et deux condensateurs.

2. — Guglielmo Marconi (1874-1937) en 1895, à l'âge de 21 ans, transmet de sa villa Griffone à Pontecchio près de Bologne, un signal audible à son frère Alfonso et son ami Mignani, éloignés de 300 m. Brevet validé le 2 juin 1896 sous n° 12 039. Musée à Sasso ; sur l'autoroute vers Florence en sortir après Bologne [14].

3. — Eugène Ducretet, 1897 premières liaisons hertziennes entre son laboratoire et le Panthéon distant de 400 mètres.

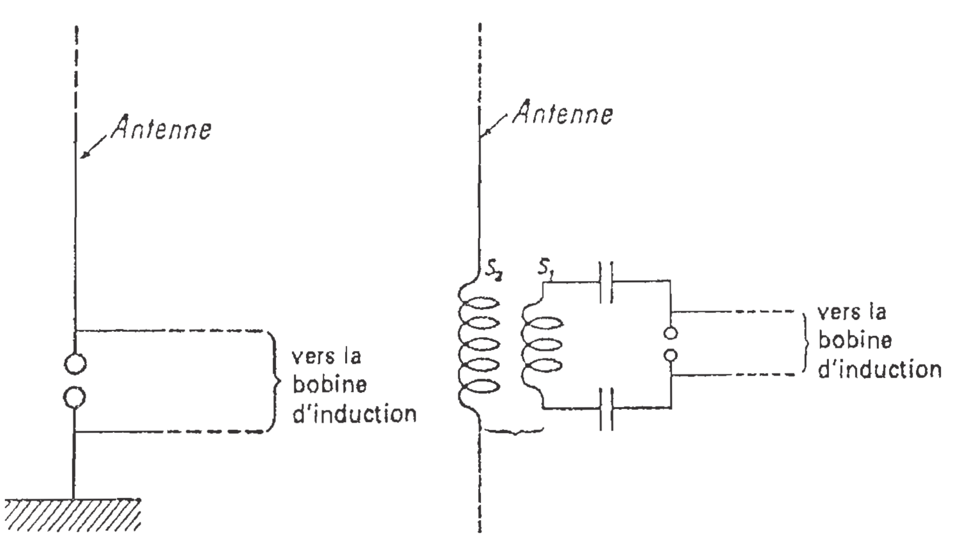


Figure 4. — Émetteur de Marconi (1895-1901) à gauche et émetteur de Braun (septembre 1898) à droite (Friedrich Kurylo, *op. cit.* in n. 1, p. 163).

Un bond en avant dans l'enseignement de l'électricité

Pour porter remède à cet inconvénient, Braun utilise en septembre 1898 deux circuits séparés avec couplage magnétique. Ainsi l'élément amortisseur qu'est l'éclateur à étincelles est séparé du circuit de l'antenne. Le premier sert à produire les oscillations électromagnétiques. Il est constitué d'une bobine et de deux condensateurs représentés en figure 3. De l'éclateur à boules en haut à gauche naissent les étincelles, source des ondes électromagnétiques. Le second circuit résonnant couplé au premier a pour fonction de diffuser les ondes électromagnétiques dans l'éther, via l'antenne. Les différences entre l'émetteur de Marconi et l'émetteur de Braun sont décrites schématiquement dans la figure 4. L'idée d'utiliser des circuits en résonance dans la TSF remonte au brevet de 1897 de l'anglais Oliver Lodge [4] (1851-1940). Mais, à la différence de Braun, Lodge n'a pas utilisé [3] de couplage électromagnétique dans son poste émetteur.

Un an plus tard, en 1899, est créé pour la première fois au monde, un cours de physique des hautes fréquences à l'université de Strasbourg.

Les premiers résultats acquis avec ce type de poste émetteur dépassent toutes les espérances. La distance [5] que Marconi avait atteinte en traversant la Manche va être largement dépassée par F. Braun. La première transmission hertzienne, de l'émetteur de Cuxhaven (une ville côtière non loin de Hambourg) situé à côté du phare *Alte Liebe*, est captée par un bateau distant de 35 km. Un succès spectaculaire sera finalement le premier message entre l'émetteur de l'île d'Helgoland en Mer du Nord et Cuxhaven, le 24 septembre 1900. L'émetteur était piloté (à voir de gauche à droite sur la figure 5) par A. Kopsel, F. Braun et J. Zenneck [4]. C'est un nouveau record à l'égard des distances, car 62 km séparent l'île de la côte. L'argent de Stollwerck et le prestige scientifique de Braun sont à l'origine de la création en 1901 de la Société pour la télégraphie sans fil système Braun et Siemens & Halske GmbH, sous la direction de W. Bargmann, pour protéger l'invention par un brevet, et pour l'exploiter.

Une autre préoccupation de Braun dans le domaine des émetteurs était : comment privilégier une direction dans la propagation des ondes électromagnétiques ? Une station de télégraphie fut réalisée dès 1901, sur le terrain militaire du Polygone à Strasbourg, afin de vérifier ses théories. Sa démarche consista à utiliser trois antennes verticales disposées en triangle équilatéral dont une des hauteurs du triangle est dirigée dans la direction souhaitée de propagation des ondes. Les deux antennes formant la base du triangle équilatéral émettent des ondes en phase, alors que celle du sommet du triangle émet

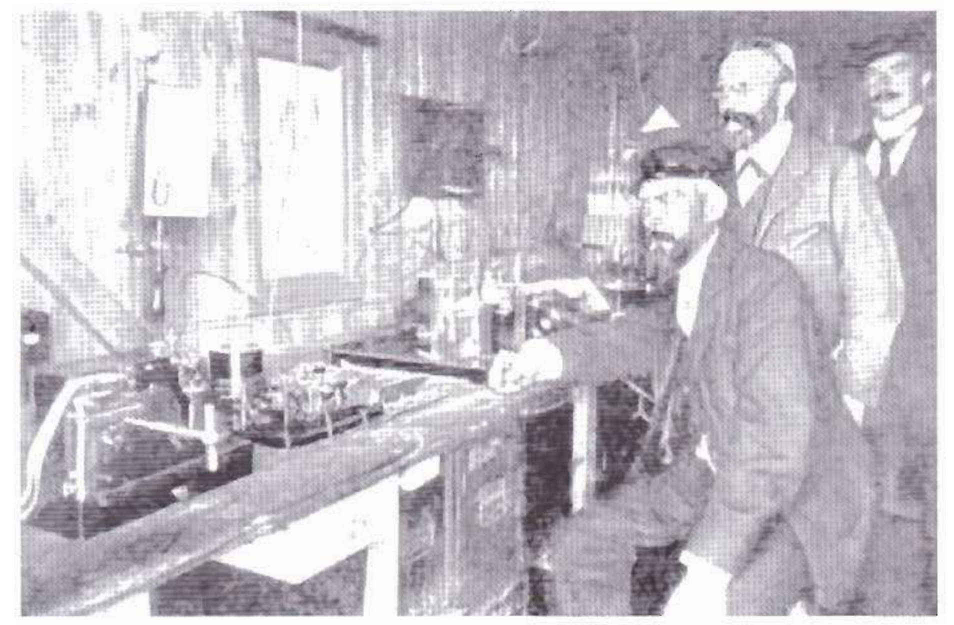


Figure 5. — L'émetteur de l'île d'Helgoland en Mer du Nord, piloté (de gauche à droite) par A. Kopsel, F. Braun et J. Zenneck.

4. — L'Anglais Sir Oliver Lodge est le premier à transmettre un signal à travers un mur. Réception par cohéreur.

5. — Distance de 51 km, entre Douvres sud et Wimereux-Boulogne-sur-Mer, atteinte le 27 mars 1898 [14].

avec un retard d'un quart d'onde (figure 6). Des amplitudes adéquates dans chacune des trois antennes produisent un cône restreint de diffusion des ondes, de l'ordre de 120°. Cette découverte fit l'objet d'une publication en mars 1903, et fut d'utilité militaire [5].

L'honneur suprême

Braun réalisa une démonstration de T.S.F. à Berlin en présence du Kaiser Guillaume II (1859-1941) (figure 7).

Suite à des querelles entre les sociétés « Société pour la télégraphie sans fil système Braun et Siemens & Halske GmbH » et « AEG/ Slaby [6] / Arco groupe » de Berlin, il fallut l'intervention personnelle du Kaiser, intéressé d'équiper la marine de cette nouvelle technique de communication, pour que les deux sociétés fusionnent le 27 mai 1903, pour devenir Telefunken dirigée jusqu'en 1931 par Georg Graf von Arco [6] et pour détenir le monopole de la T.S.F. en Allemagne.

Il est vrai qu'un an après, Marconi bat à nouveau tous les records en transmettant les premiers signaux sans fil d'un bout à l'autre de l'Atlantique [7]. Braun savait parfaitement que l'émetteur à étincelles n'était pas la solution aboutie, et que la T.S.F. de l'avenir fonctionnerait avec des ondes entretenues. Mais il n'a pas participé activement au développement ultérieur des postes émetteurs.

6. — Professeur Dr. Adolf Slaby (1849-1913) associé de Georg Graf von Arco [6]. Essais de TSF sur une distance de 1,6 km, en juillet 1897 (antenne fixée à un clocher !), un peu plus tard sur 21 km entre Berlin et Rangshof.

7. — Premières liaisons hertziennes transatlantiques de 3 000 km. Émetteur à étincelles de Poldhu près du Cap Lizard (Angleterre). Récepteur à cohéreur de Colani de Signal Hill, Terre Neuve, le 12 décembre 1901. [15].

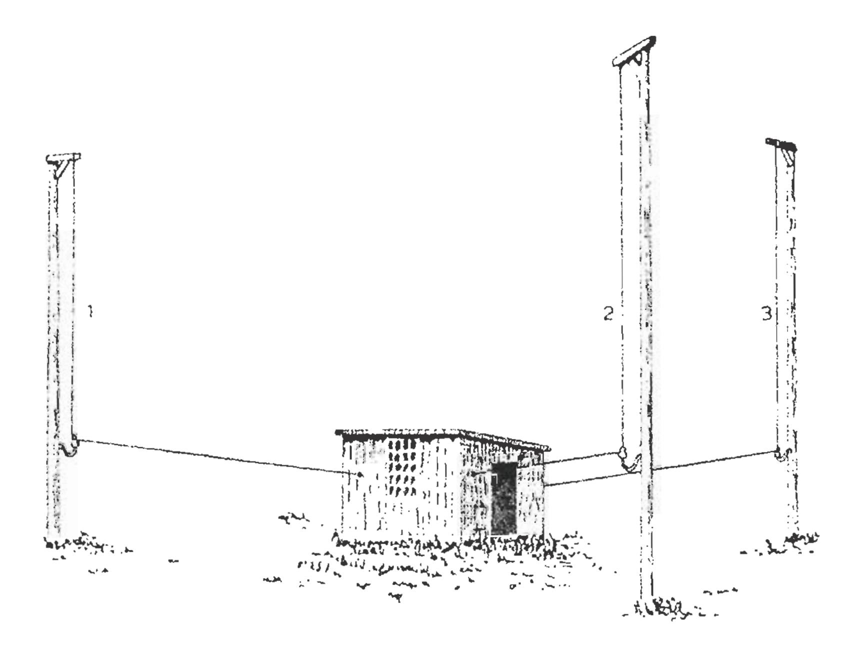


Figure 6. — La directivité d'un système à trois antennes.

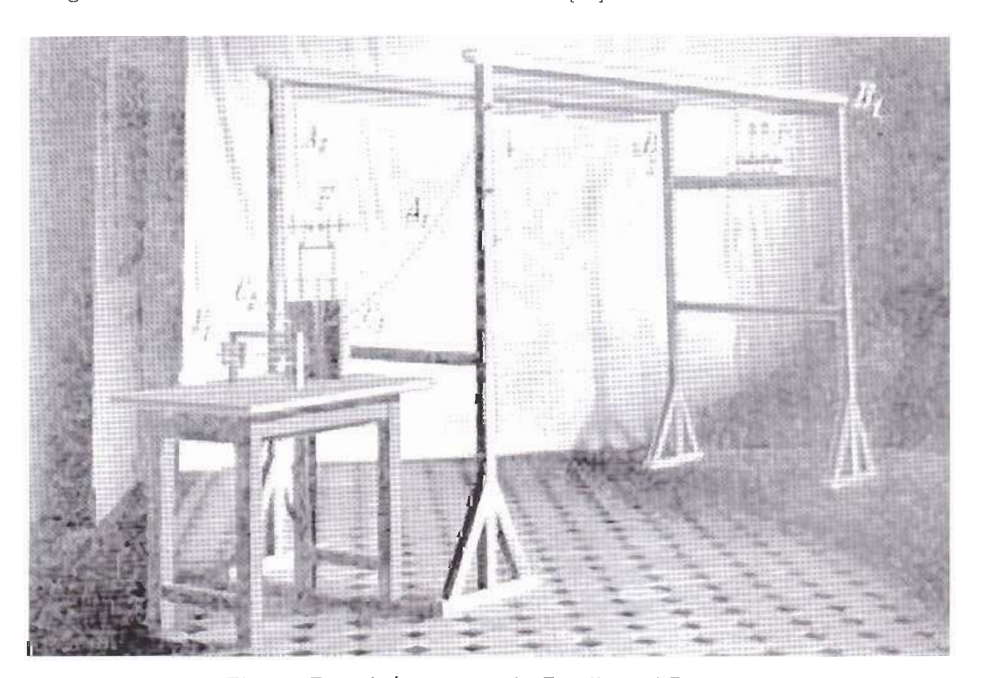


Figure 7. — L'émetteur de Ferdinand Braun.

Le récepteur à galène, un très grand succès

Par contre, comme Édouard Branly, il contribua par ses travaux à perfectionner la T.S.F. du côté de la réception. Dans la période décisive de ses expériences destinées à améliorer l'émetteur, il a comme tout le monde, utilisé le radioconducteur de Branly, tout en souffrant de son imperfection et de ses caprices. Il a d'ailleurs toujours considéré Branly comme l'inventeur du radioconducteur, ou cohéreur (de l'anglais *coherer*), ou *Fritter* pour les allemands.

Une des contributions à la technique de la réception des ondes électromagnétiques concerne l'emploi d'un détecteur à cristal, dont la carrière se révélera plus brillante que celle du cohéreur. Avant le tube électronique, et encore bien après, le détecteur à galène était le type de récepteur le plus répandu. Et encore aujourd'hui, le poste à galène émerveille les fans de T.S.F. ancienne. Braun avait observé que la résistance de ce cristal (sulfure métallique, dont le sulfure de plomb ou galène) dépend de la direction du courant. Il publiait ses travaux [7] le 23 novembre 1874, alors professeur à Leipzig (Il faudra les longs travaux de Pickard aux États-Unis

pour sortir la galène de l'oubli comme détecteur d'ondes en 1906).

Cette découverte de 1874 passa presque inaperçue. Les observations de Braun sont contestées par Henry Dufet, lors d'une conférence à l'Académie des sciences (Paris 1875), ce qui l'incite à revenir sur le phénomène dans un deuxième article publié en 1877 [8]. Il y précise l'importance des différents contacts entre le cristal et les fils conducteurs. Mais à cette époque, cette découverte n'était d'aucune utilité pratique ! Et de plus, en contradiction avec les théories de l'électricité (loi d'Ohm) en vigueur, et de surcroît, il n'était pas facile de l'obtenir de façon régulière. À cette époque, le courant continu est omniprésent, dont pas d'utilité pratique à ce redresseur !

Un regain d'intérêt

L'observation de Braun, considérée aujourd'hui comme un événement clé dans l'histoire des solides, était donc presque tombée dans l'oubli. Après avoir longtemps souffert de l'imperfection du cohéreur dans les expériences de T.S.F., il eut l'idée de remplacer le cohéreur ou tube à limaille de Branly par un cristal [9]. Il en résulte un courant d'intensité variable, assez fort pour générer des signaux audibles dans un écouteur téléphonique. La Société pour la télégraphie sans fil fait breveter (n° 178871) ce nouveau détecteur d'ondes, et commence à le produire en série. Comme il est facile à construire et qu'il fonctionne sur un principe peu connu, les bricoleurs du monde entier s'empressent de le perfectionner. Jusqu'en 1908, on compte six nouveaux brevets allemands pour des améliorations du détecteur à cristal, et en 1927... plus de 50 brevets !

À vous d'essayer...

Il s'impose aux jeunes passionnés de T.S.F. d'expérimenter les difficultés d'établir un contact sur un morceau de galène à la recherche de l'effet redresseur ou semi-conducteur comme on dit de nos jours. Celui-ci dépend considérablement de la manière dont le cristal est inséré avec les fils qui forment le circuit électrique. Après plusieurs essais, Braun avait trouvé que la meilleure façon de fixer un tel cristal dans un circuit électrique consistait à l'insérer entre un solide fil métallique et un deuxième fil en forme de ressort muni d'une pointe à son extrémité et qu'il s'agissait avant tout de trouver le bon contact permettant l'effet redresseur de la galène.

La galène qui oscille...

Si Jean Cazenobe écrit, dans la *Revue d'Histoire des Sciences* (1976) sous le titre « Trop connu, méconnu : le tube à limaille » (découverte de 1890) — on ignorait complètement la nature du phénomène physique du cohéreur — qu'on a beaucoup expérimenté, peu mesuré et fort mal compris, cela a été très différent dans les développements futurs des détecteurs utilisant des cristaux de différentes matières.

En effet, on peut les polariser, exécuter de multiples montages [10], faire fonctionner certains en amplificateurs, ou produire des oscillations électriques avec d'autres (une découverte du Russe O.E. Lossev en 1923). Par exemple, une polarisation positive de 1 à 5 volts sur un cristal de zincite, produit un effet de résistance négative qui lui permet de produire les fonctions du tube triode.

Les développements théoriques de l'oscillateur à cristal couvrent une courte période de la radio (1923-1927).

Controverses de priorité

Comme dans beaucoup d'autres domaines de la T.S.F., il y a eu aussi des querelles de priorité à propos du détecteur à cristal. Aux États-Unis, il a été inventé par Henry Dunwoody (c'était une variante du dispositif de Pickard datant de 1906), dont le brevet date d'une semaine après celui de Braun, et en France, Camille Tissot [11] réalise des expériences pour perfectionner le cohéreur et constate en 1909 que le contact entre une pointe métallique et un morceau de pyrite de cuivre pouvait servir de détecteur d'ondes. Contrairement à Braun et d'autres chercheurs, Tissot s'obstinait à expliquer le phénomène par l'effet thermoélectrique, il semble que pendant un certain temps, on ait considéré son détecteur comme quelque chose de fondamentalement différent de celui de Braun, ce qui était une erreur.

Ferdinand Braun utilisa en 1913 l'antenne cadre (proposée par A. Blondel en 1901, perfectionnée par l'Italien Artom en 1907) comme capteur du champ électromagnétique émis de la tour Eiffel, afin de le mesurer et d'instruire ses élèves de l'institut de physique de Strasbourg ; parmi ceux-ci le futur Dr Albert Schweitzer, élève de 1905 à 1908.

Voir, ce que l'on ne peut pas voir !

Dans la littérature scientifique et dans les manuels de physique allemands, le nom de Braun est surtout mentionné pour une autre invention, celle du tube cathodique ou « tube de Braun », (son invention la plus affirmée, incontestable et utile) et qui sera utilisée pour l'oscilloscope cathodique (figure 8). Un exemplaire est visible au musée Electropolis de Mulhouse. La première image visualisée sur ce tube

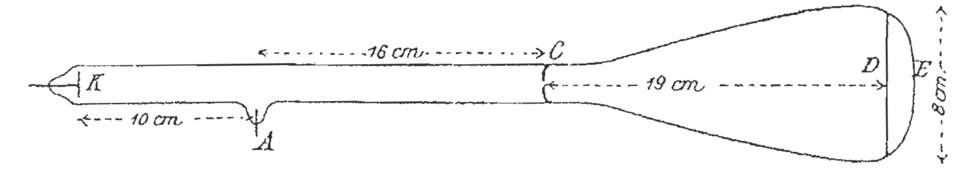


Figure 8. — Tube à rayons cathodiques (Ferdinand Braun, Über ein Verfahren zur Demonstration und zum, Studium des zeitlichen Verlaufesvariabler Ströme, *Annalen der Physik und Chemie*, 296 (1897), 552). K = Kathode, A = Anode.

fut la sinusoïde du réseau électrique municipal de Strasbourg. Cette fois, Braun n'a pas imaginé que cet appareil put être utile pour la télécommunication. Il faudra attendre plus tard les travaux de Zworykin en 1923, Baird en 1926 et de René Barthélemy.

Pour lui, ce tube n'était qu'un outil destiné à rendre visibles des phénomènes électriques rapides, comme cette oscillation amortie (figure 9). La première démonstration publique eut lieu le 15 février 1897 et il présenta son oscilloscope à Toronto la même année.

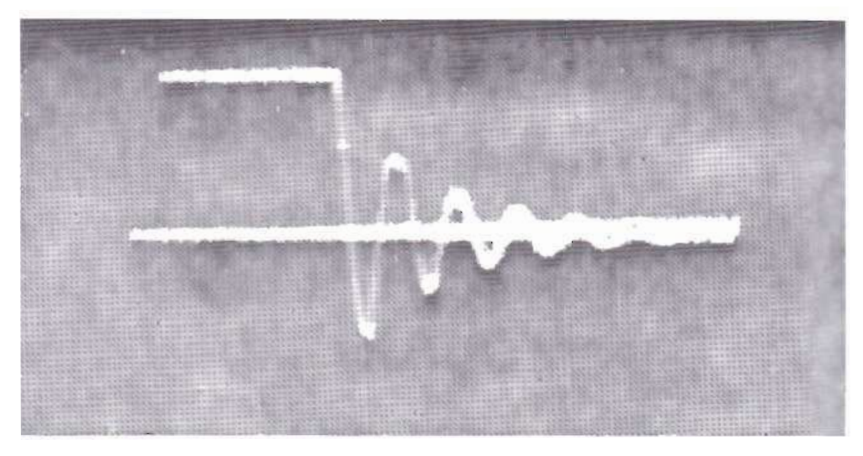


Figure 9. — Une oscillation amortie sur un tube de Braun.

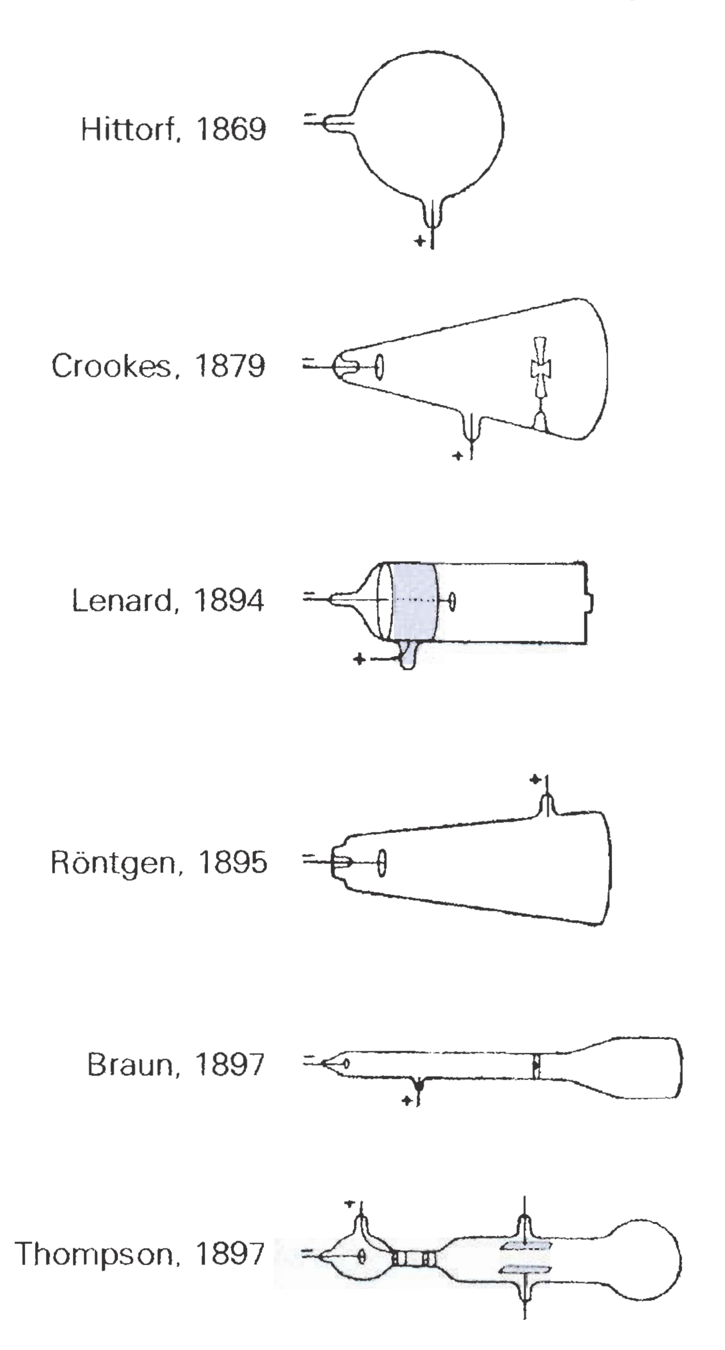


Figure 10. — La famille nombreuse des tubes cathodiques.

En fait, le tube de Braun appartient à une famille nombreuse de tubes cathodiques[8] (figure 10), l'un appelé tube de Röntgen ou tube à rayon X dès 1895, un autre appelé tube de Crooks dès 1879, un autre encore appelé tube de Hittorf dès 1869. L'inventeur du tube cathodique serait le professeur Julius Plücker en 1859. Ces tubes ont en commun un vide poussé à l'intérieur et deux électrodes, une cathode émettrice d'électrons, ces derniers attirés par la charge positive d'une électrode éloignée, appelée anode. En 1906, deux assistants de Braun ont breveté le tube cathodique pour transmettre des images, donc pour une forme rudimentaire de télévision. Ceci n'était pas pour plaire à leur maître, car pour lui, la télévision était comparable à la télépathie, et il était fâché de voir son invention liée à de telles activités.

Conflits d'intérêts

En 1914, l'Amérique voit d'un mauvais œil les émissions allemandes sur son propre territoire. Il serait bon de pouvoir interdire aux compagnies germaniques l'accès au marché américain. Pour des raisons de brevets, un procès éclate, ordonné par la société Marconi et visant à interdire le droit d'émission de la station de Sayville aux États-Unis, laquelle reçoit ses informations de la station de Nauen, située aux environs de Berlin. Braun est désigné comme expert dans ce procès et quitte Strasbourg pour New York, contre sa volonté. Il participa au deuxième congrès des ingénieurs en radio à New York le 24 avril 1915 et au banquet qui suivit. On le voit en 8 sur la figure 11. En 1917, les États-Unis entrent en guerre, et notre héros est assigné à résidence. Étranger en terre hostile, il ne peut rentrer en Allemagne. Sa vie et son œuvre s'achèvent à New York le 20 avril 1918.

8. — Ils permirent un grand nombre de découvertes scientifiques ; masse / charge de l'électron par J. J. Thomson, 1897.

Braun décline Berlin...

Pour conclure, quelques remarques biographiques supplémentaires.

Braun était membre de la vénérable Société de philologie d'Alsace-Lorraine, il fut même élu président. L'Alsace était devenue pour lui une véritable terre d'adoption, et en 1905, il déclina l'offre d'assumer la chaire de physique la plus renommée de toute l'Allemagne, celle de Berlin, pour des raisons personnelles ; il préférait rester dans le milieu alsacien, où il était heureux. En 1914, il fut parmi les rares professeurs allemands d'une certaine renommée qui refusèrent de signer le fameux document Chauvin connu sous le nom de *Manifeste des 93* [12]. Du fait de sa mort à Brooklyn le 20 avril 1918, avant la fin de la Première Guerre mondiale, il échappa à l'expulsion de la ville de Strasbourg où il avait connu ses succès avec ses assistants, et à laquelle il se sentait profondément lié, après y avoir passé vingt ans comme enseignant et chercheur.

Jovial et souriant, Ferdinand Braun était fin connaisseur des vins, un ami des chiens dont son fidèle Léo, et également peintre paysagiste. Il fut un inventeur jovial et souriant, connu pour son humour et ses manières simples [13], tout en accordant un grand intérêt à la tradition universitaire et au respect hiérarchique des personnes.

Une colonne de marbre fut dressée à Cuxhaven (figure 12), en témoignage d'une des premières installations de transmissions hertziennes [9].

Michel Receveur (RFL 581).

Je tiens tout particulièrement à remercier messieurs le Dr Georges Frick [16], ancien ingénieur au CNRS de Strasbourg (il m'a prêté le livre de K.Kurylo et une partie des documents ci-dessous) et J-C. Montagné pour ses précisions.

---

9. — Un autre site datant de 1901 témoigne de l'ancienne station T.S.F. de Marconi, au Cap Lizard, situé à Bass Point en Cornouaille anglaise et on trouve également des vestiges des premières antennes construites par G. Marconi et le Prof. J.A. Fleming de Londres en 1901 à Poldhu, en Grande-Bretagne.

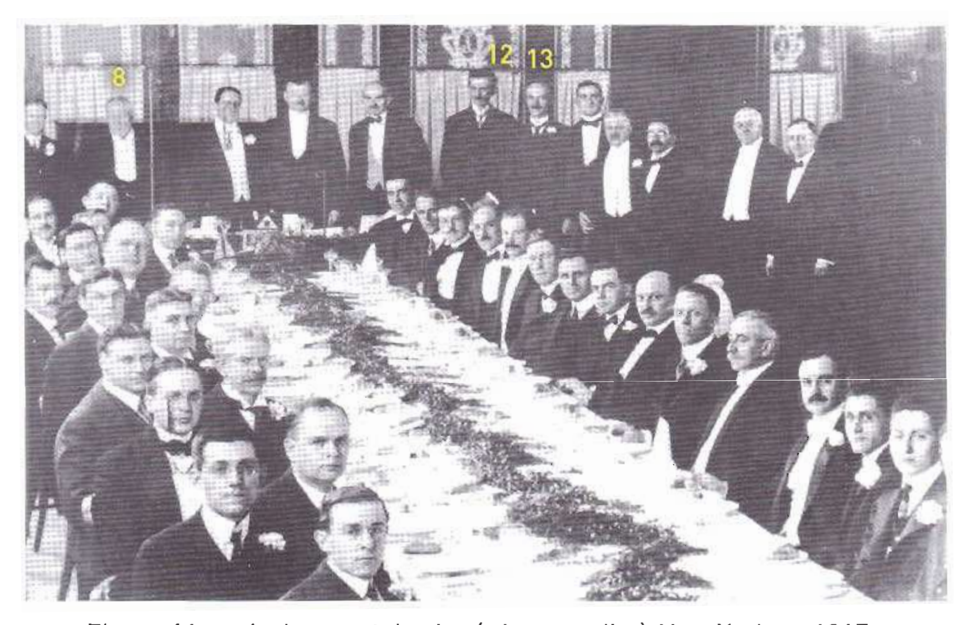


Figure 11. — Au banquet des ingénieurs radio à New York en 1917 : Ferdinand Braun (8), Lee de Forest (12) et Nikola Tesla (13).

Figure 12. — Colonne de marbre dressée à Cuxhaven.

Sources

[1]. La source principale sur Ferdinand Braun est le livre de Friedrich Kurylo, *Ferdinand Braun : Leben und Wirken des Erfinders der Braunschen Röhre* (Ed. Heinz Moos, Munich 1965).

[2]. Ferdinand Braun. *Drahtlose Telegraphie durch Wasser und Luft* (Leipzig, 1901) p. 15.

[3]. Cf. Hugh, G.J. Aitken, Syntony and Spark. *The Origine of Radio* (New York-Wiley, 1976) p. 130-142.

[4]. Illustration en p. 364 de *Chronik der Technik* Felix R. Paturi, Ed. Chronik - ISBN 3-611-00033-7.

[5]. Electrical Oscillations and Wireless Telegraphy. Extrait de l'exposé de F. Braun lu à Stockholm à la remise du Prix Nobel.

[6]. Dr. Georg Graf von Arco (1869-1940). Telefunken nach 100 Jahren. p. 19, Ed. Nicolai, 2003 - ISBN 3-87584-4961-2

[7]. Ferdinand Braun. Über die Stromleitung durch Schwefelmetalle, *Annalen der Physik und Chemie*, 229 (1874), p. 556-563.

[8]. Ferdinand Braun. Über Abweichung vom Ohm'schen Gesetz in metallisch leiten Körpen, *Annalen der Physik und Chemie*, n° 137 (1877), p.95-110.

[9]. Ferdinand Braun. Ein neuer Wellenanzeiger (Unipolar-Detektor), *Elektrotechnische Zeitschrift* (1906).

[10]. *Encyclopédie de la Radioélectricité*. Michel Adam, Ed. Chiron (1928) p. 160.

[11]. Camille Tissot. Contribution à l'étude des détecteurs à contacts solides, *Journal de physique*, 4e série, 1910, p. 887-901.

[12]. Les versions allemande et française du *Manifeste des intellectuels allemands*, dit *des 93*. Ed. A. Morel-Fatio (Paris, 1915).

[13]. Article de presse FZ, région Fulda, du 31 déc. 2008, de Michael Mott, p. 14.

[14]. *Cahier du Club allemand de Radio G.F.G.F.* n° 178. Marconi, Vater des Radios, A. Melloni, p. 53.

[15]. *Cahier du Club G.F.G.F.* n°187. Frühe transatlantische Funkverbindungen, Prof. Dr. Berthold Bosch, p. 151.

[16]. Auteur avec François Mauviard du livret *Ferdinand Braun, itinéraire d'un Nobel cathodique*, expo. à Strasbourg de 1996-67.